

医療系養成校における見える化技術支援 による多様な医用工学実験 Trial of the medical engineering experiment in the medical technologist training

柴岡信一郎 Shinichirou SHIBAOKA

日本ウェルネススポーツ大学

Nihon Wellness Sports University

鳥谷尾秀行 Hideyuki TOYAO

秀明大学

Shumei University

渋井二三男 Fumio SHIBUI

城西短期大学

Josai Base College

要旨：社会的背景として、日本は失われた20年といい、永くて、閉塞感のある経済事情、不安定な政治事情から、また、NET、COMPUTER導入による人件費圧縮、作業高速化による時間短縮から景気の動向にかかわらず、企業の人件費軽減、仕事の専門性が進みつつある。したがって、非専門性の色彩が強い学部より、高専門性の医療系学部の志願者が近年、急増している現実がある。これをうけて、最近、大学薬学部また、3年制医療系専門学校の中に臨床検査技師養成コースの設置の動き、あるいは企画が多く見受けられる。最近の高齢化社会に加えて、現政権がTPP加盟を意識して、医療・介護に関心を寄せていることが一層拍車をかけ、某大学・3年生専門学校では50倍近い求人がきているところもあるという。

キーワード：臨床検査技師，診療放射線技師，大学設置基準化大綱，医用工学実験，原子核崩壊現象

1 最近の臨床検査技師の背景

臨床検査技師および、診療放射線技師（以下、技師と呼ぶ）はそれら学問分野の重要性であることは論を待たず、当然のことながら、人命を担う医療で種々発症から、病状を把握し、診断を把握し、該診断を把握し、確定し、さらに治療安全性・治療有効性や病気の予後を判定する上で重要な分野といえる。

当該分野を専攻する医療系学生はその検査法の意義・内容を十分に把握しなければ、当該病院施設、患者、医師、看護師・・・に多大迷惑（場合によって、患者は死に至ることも皆無ではない）をかけ、該施設存亡に危機のいたることも十分ありえる。

そこで、これら技師を目指し、研鑽する医療系

学生はこの日々、目覚ましく開発進歩発展をつづけている、当該患者の発症病状を的確にとらえ、安全性・有効性を徒然考慮した的確な検査法・操作法を日々、追求・研鑽研究していかなければならない。また、疾病予防医学の見地から最新の治療や診断を支援し、国家・国民に奉仕する重要な役割を遂行しなければならない。

この技術の多くはすでに米国など大型コンピュータ・ワークステーションでは実用に供されているが、ソフトウェア的には高価なアプリとなるのが難点であるのが実情である。さらに、ハードウェア的には身近にある事務用PCでは稼働しないこともあり、これら大型コンピュータ・ワークステーションを採用している大学等は皆無に近い状態である。

一方、このような環境の中で、これら技師は医療チームの中における医師団にもっとも近く、も

っとも重要な位置づけとされている。

また、医療分野での専門的需要背景として高齢化の中で、技師にとって、検体検査、生理機能検査の作業が激増し、これら臨床検査及び、診療放射線に必要な技術・機器の取り扱いに習熟している技師不足が逼迫していることに起因している。さらに、最近、厚労省のほうで設置基準化の大綱、弾力化による医療制度の改正により、弾力化・多様化が実現し、大学・専門学校を含めた医療養成機関の方針・運用により、特色ある教育・訓練・実験が可能になった。

そこで、当研究グループは特色ある教育内容の検討とその運用を研究してきた。その結果、技師養成校における見える化シミュレーション技術支援による後述する過渡現象回路、熱伝導現象など医療系学生にとって、多様で難解な医用工学実験を開発し、運用・評価を得たので報告する。

注：評価については紙面の関係で次回にし、
本稿では割愛する。

2 臨床データの概要

2.1 検体検査

被験者の尿や血液より、有意な臨床データを得る検査を検体検査と言っている。検体検査機器を使用して病原物質の濃度、医療顕微鏡を用いて細胞の状態を検査している。

検体検査により、被験者の体内の状態を精密に検査することが可能になる。

主な検体検査を次に示す。

- ・生化学検査
- ・伝子検査
- ・血液検査
- ・一般検査
- ・病理検査
- ・輸血検査
- ・免疫検査
- ・微生物検査

2.2 生理機能検査

脳・神経・心臓・肺などの生理的反応や機能を被験者に直接対面面接して調べます。身体から発する微弱な信号を波形にして評価する検査や、体内の状況をリアルタイムで画像に表す検査がある。おもな検体検査を次に示す。

- ・磁気共鳴画像(MRI)検査
- ・超音波検査
- ・呼吸機能検査
- ・心電図検査
- ・脳波検査
- ・熱画像検査
- ・誘発電位検査
- ・無散瞳式眼底写真検査
- ・平衡聴覚機能検査

3 医療工学概論

3.1 医療工学および情報科学

厚労省で規定されている医療工学および情報科学の科目配列の一部抜粋を表1に示す。

3.2 検査総管理理学

厚労省で規定されている検査総管理理学の科目配列の一部抜粋を表1に示す。

4 見える化シミュレーション技術支援による過渡現象回路実験結線

見える化シミュレーション技術支援による過渡現象回路実験の回路結線図をPCに臨床検査技師養成シミュレータとして開いたCR回路例として図1に示す。

- ・使用機器：ファンクション発振器 (FG)，微分・積分回路 (TypeA, TypeB)，デジタルオシロスコープ，プリンター
- ・実験1＜ステップ応答特性＞：FGから矩形波をRC席分解炉に入力し，入力波形と出力波形，RC回路の時定数との関係を調べる。RC回路は，TypeA（抵抗3水準）を使用する。

4.1 見える化シミュレーション技術支援による過渡現象回路実験

“3 見える化シミュレーション技術支援による過渡現象回路実験の回路結線図：図1”をベースとして、実機として、PC上に臨床検査技師養成シミュレータとして開発した下記、過渡現象回路、熱伝導現象などを該厚労省“国家試験”も絡ませ、医療系学生にとって試験運用した。

4.1.1 RC直列回路

前述した見える化シミュレーション技術支援によるRC直列回路における過渡現象回路実験の回路結線図を図1を前提とする。

表1 医療工学および情報科学と検査総合管理学の科目配列の一部

大項目	中項目	小項目
1 臨床検査と生体物性	A 生体物性と生体計測	
	B 生体物性の基礎	a 電気的特性
		b 力学的特性
		c 熱的特性
		d 光学的性質
		e 磁気的特性
2 医療情報システム	A 医療情報システム	a オーダリングシステム
		b 電子カルテシステム
		c 遠隔診断支援システム
		d 医用画像情報システム
		e 個人・資格認証システム
	B 医療情報の保護とプライバシー	a 情報の保護に関する知識
		b プライバシーに関する理解
		c 情報のセキュリティシステム
	C 医療情報システムの運用	a データの入出力
		b データの保存と圧縮
3 検査機器学総説	A 用手法と検査機	
	B 取扱い上の注意と心構え	
4 共通機械器具の原理・構造	A 化学容量器	a ビベット、微量ビベット、メスフラスコ、メスシリンダ
		b 検定交差、検定法、洗浄法

B 天秤	a 等比天秤
	b 直示天秤
	c 電子天秤
C 遠視分離装置	a 汎用遠心分離機
	b 高速遠心分離機
	c ヘマトクリット用遠心分離機
	d 分析用超遠心分離機
D 分離分析装置	a 電気泳動装置
	b クロマトグラフ
E 電気化学装置	a pHガラス電極
	b PCO2電極
	c PO2電極
	d 血液ガス分析装置
F 純水製造装置	a 蒸留法
	b 脱イオン法
	c 逆浸透法

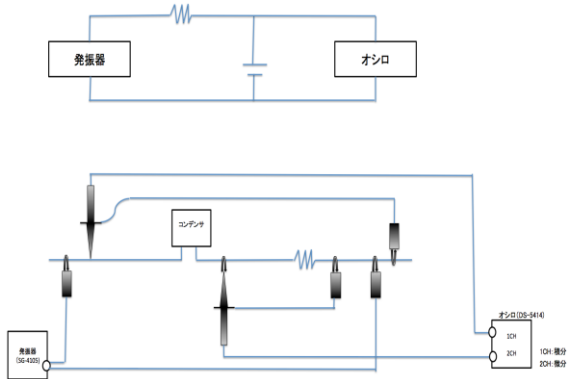


図1 見える化シミュレーション技術支援による過渡現象回路実験の回路結線

第54回国家試験午後電気・電子RC直列回路

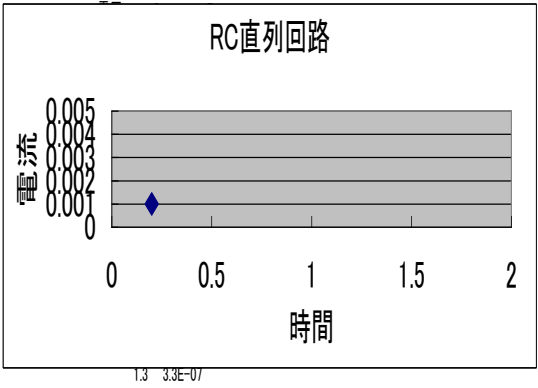


図2 RC直列回路過渡現象

次に電流を流し始めたときは、コンデンサーにはどんどん蓄えられて、回路にはコンデンサーがないのと同じように電流が流れるので、電流の初期値はコンデンサーを無視して考える。よって、オームの法則により、

図3の回路でスイッチSを閉じてから0.2秒後の電流*i*は何Aか。ただし、自然対数の底e=2.7、スイッチを閉じる前のCには電荷はないものとする。

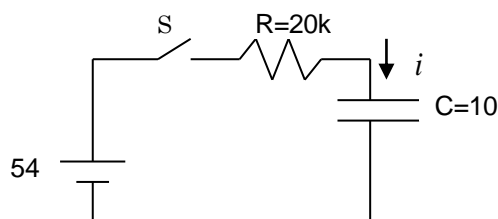


図3 RC直列回路

$$\text{電流の初期値 } I_0 = \frac{V}{R} = \frac{54}{20000} = 2.7 \times 10^{-3} \text{ A と}$$

なる。これから電流は時間を経つにつれて、流れなくなっていきので、 1.0×10^{-3} となる。

(参考)

一般にオームの法則 $IR=V$ とコンデンサー $Q=CV$ をキルヒホッフの法則 $V = V_R + V_C$ に当

てはめると、 $V = IR + \frac{Q}{C}$ より両辺を時間 t で微分して

$$0 = R \frac{dI}{dt} + \frac{1}{C} \frac{dQ}{dt}$$

ここで $I = \frac{dQ}{dt}$ より

$$0 = R \frac{dI}{dt} + \frac{1}{C} I \text{ となるので、1階の常微分方程}$$

式となり、変数分離法で解ける。

$$\frac{1}{I} \frac{dI}{dt} = -\frac{1}{CR} \text{ より, } \frac{1}{I} dI = -\frac{1}{CR} dt \text{ より}$$

$$\int \frac{1}{I} dI = -\int \frac{1}{CR} dt$$

$$\text{よって } \log I = -\frac{t}{CR} + A \text{ (A は定数)}$$

$$\text{よって } I = e^{-\frac{t}{CR} + A}$$

初期条件を $t=0$ で $I = I_0$ とすると、 $I_0 = e^A$ より、

$$I = I_0 e^{-\frac{t}{CR}} \text{ となる。}$$

(RC回路) 類題として、図4の回路で、スイッチSを閉じたときの最大電流はどれであろうかをか

1. 10mA
2. 100mA
3. 200mA
- 4.

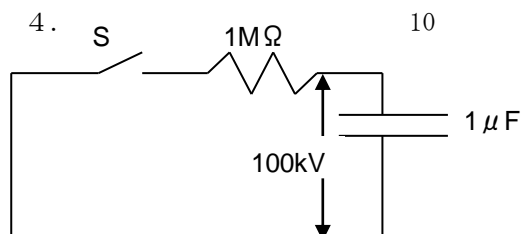


図4

RC直列回路

4.1.2 LC直列共振回路

LC直列回路ではコンデンサーに蓄えられた電荷が、電流としてコイルを流れるとき、電磁誘導により、コイルに逆向きの電流が生じて、コンデンサーに向かい、蓄えられる。これが繰り返され、共振が起こる。それをグラフにすると図5 LC直列共振回路のようになる。

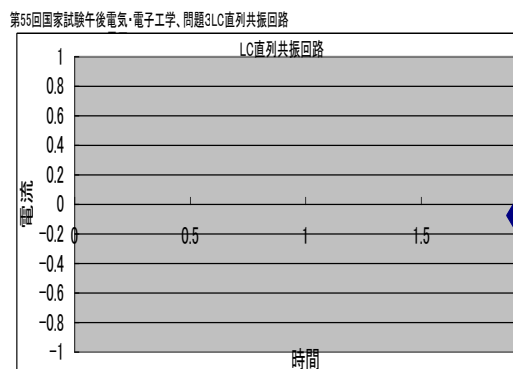


図5 LC直列共振回路過渡現象

このときの共振周波数は $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ となる。

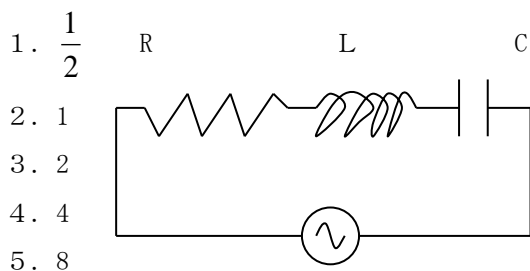


図6 RLC直列回路

前述の図5の回路で、コイルのインダクタンスを一定にしてコンデンサの静電容量を4倍に、抵抗値を2倍にしたとき、共振周波数はもとの回路の何倍になるかをかんがえる。

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

に抵抗値は無関係なので、静電容量

Cを4Cに置き換えると

$$f' = \frac{1}{2\pi\sqrt{L4C}} = \frac{1}{4\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2}f \text{ となる。}$$

(参考)

上でも書いたが、コイルに電流が流れると、電磁誘導でコイル内に磁場が発生して、磁場の変化が起こるので、コイルに逆向きの電流が流れる。これは、小中学校に習った、コイルの中に棒磁石を入れたり、出したりするとコイルに電流が流れることを同じである。詳しくは、自己インダクタンスをLとすると、ファラデーの法則より

$$V = -L \frac{dI}{dt} \text{ とコンデンサでは } V = \frac{Q}{C} \text{ となる}$$

$$\text{ので, } -L \frac{dI}{dt} = \frac{Q}{C} \text{ より}$$

$$\text{また, } I = \frac{dQ}{dt} \text{ なので, } -L \frac{d^2Q}{dt^2} = \frac{Q}{C} \text{ より}$$

$$\frac{d^2Q}{dt^2} = -\frac{1}{LC}Q \text{ となる。}$$

$$\text{これは, 単振動の微分方程式 } \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2x \text{ なの}$$

で、角振動数は $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ となり、

$$2\pi f = \omega \text{ より, } f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

(LC 共振) 類題として、

図の回路の共振周波数は何 Hz になるだろうか
も考えられよう。

1. 800
2. 1.6k
3. 3.2k
4. 16k
5. 16M

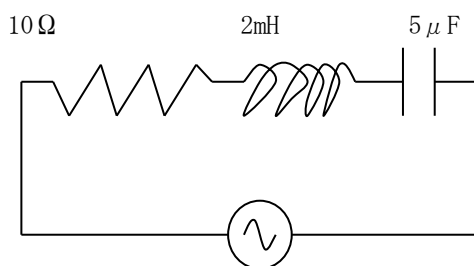


図7 RL直列共振回路

4.1.3 半減期

放射性物質は ${}^4_2\text{He}$ 核または電子を放出して、崩壊していく。そして、最初にあった原子核数が半分になる時間を半減期という。半減期を T、最初の原子核数を N_0 とし、時間 t のときの原子核

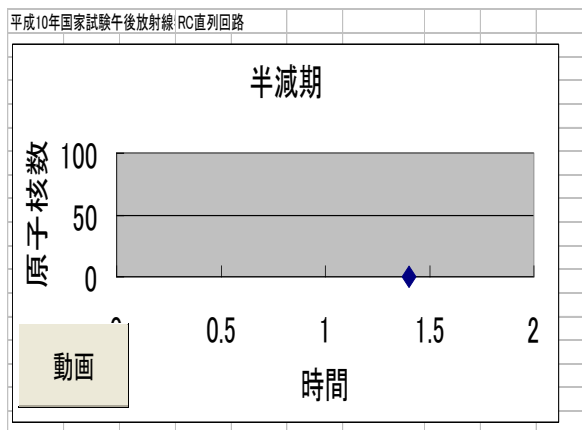


図8 半減期過渡現象

数を N とするとき、公式 $N = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}}$ が成り立

つ。つまり、時間 T ごとに原子核数は半分になっていく。それをグラフにすると次の図 8 のようになる。

平成 10 年

^{90}Sr は半減期 29 年で ^{90}Y に壊変し、また ^{90}Y は半減期 64 時間で ^{90}Zr に壊変する。はじめに ^{90}Sr が 10^{10}Bq あったとすれば、58 年後における ^{90}Y の放射能は何 Bq になるであろうかをかんがえる。

^{90}Sr の半減期に対して、 ^{90}Y の半減期が非常に小さいので、 ^{90}Sr から ^{90}Y に崩壊したものはすべて、 ^{90}Zr に崩壊したと考えても、差し支えないので、 ^{90}Y の放射能は ^{90}Sr の放射能に等しいと考えて、

$$A = A_0 \times \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}} = 10^{10} \times \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{58}{29}} = 10^{10} \times \left(\frac{1}{2} \right)^2 = 10^{10} \times \frac{1}{4}$$

(参考)

原子核の数の減少していく速度は、そのときの原子核の個数に比例していることから、

微分方程式 $\frac{dN}{dt} = -kN$ を満たす。よって、変数

分離法より $\frac{1}{N} dN = -k dt$ となり、

$\log N = -kt + C$ よって $N = e^{-kt+C} = C'e^{-kt}$ 。ここで、 $t=0$ のとき、 $N = N_0$ より、

$C' = N_0$ となり、よって、 $N = N_0 e^{-kt}$ また、 $t=T$

で半分の個数 $N = \frac{1}{2} N_0$ になるので、

$$e^{-kT} = \frac{1}{2} \quad \text{より、}$$

$$N = N_0 e^{-kt} = N_0 e^{-kT \times \frac{t}{T}} = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}} \quad \text{と導ける。}$$

(半減期) 類題として、

購入時 10MBq であった ^{125}I が 30 日経過すればほぼ何 MBq となるであろうかをかんがえる。

ただし、 ^{125}I の半減期は 60 日である。

この他に、超音波検査に対するシミュレーションとして、波動方程式が考えられる。さらに熱画像検査に対しては、放物型方程式が考えられる。放物型方程式のみシミュレーションを以下に示す。

4.1.4 放物型偏微分方程式

線形の放物型偏微分方程式の最も有名な 1 次元熱伝導方程式または拡散方程式と呼ばれる

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

境界条件 $u=1$

初期条件 $u=0$

を考える。時間項があるので、マクロを使い、動画を作成する。

時間方向は前進差分で、空間には中心差分表示すると、

$$\frac{u_{i+1,j} - u_{i,j}}{h} = \frac{u_{i,j+1} - 2u_{i,j} + u_{i,j-1}}{k^2}$$

これより

$$u_{i+1,j} = \frac{h}{k^2} (u_{i,j+1} + u_{i,j-1}) + \left(1 - \frac{2h}{k^2} \right) u_{i,j}$$

$k=0.3$, $h=0.03$ とすると

$$u_{i+1,j} = \frac{u_{i,j+1} + u_{i,j-1} + u_{i,j}}{3}$$

となる。

エクセルのセルには B4 から K4 と B5 から K5 まで同じ初期条件と境界条件を入れる。

次に B6=1, K6=1 は境界条件であるが、 $C6=(D5+B5+C5)/3$ とし、D6 から J6 も同様にする。

グラフはB6 から K6 の範囲で、散布図で、なめらかな曲線を選ぶ。

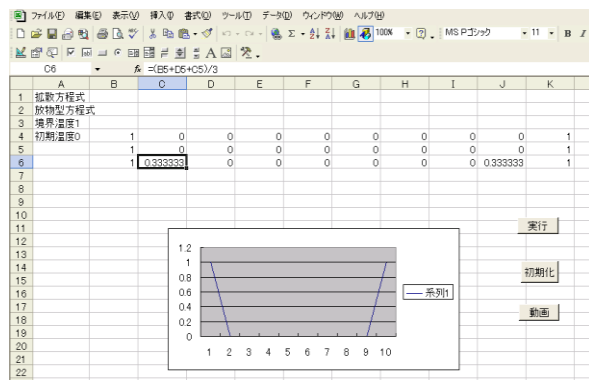


図 9 放物型偏微分方程式

このシミュレーションは、作成が容易で、我々は、他に、流体に関するナビエ・ストークス方程式、超伝導に関するギンツブルク・ランダウ方程式、量子力学のシュレディンガー波動方程式、金融工学に関するブラック・ショールズ方程式などのシミュレーションを作成し、次に示す。

ナビエ・ストークス方程式

$$2\left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y}\right)^2 - 2\frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = -\frac{1}{\rho} \nabla^2 P$$

次のギンツブルク・ランダウ方程式を図 10、

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} + \psi + |\psi|^2 - i \nabla^2 \psi = 0$$

次のシュレディンガー波動方程式を図 11、

$$i \hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\hbar^2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + V \psi$$

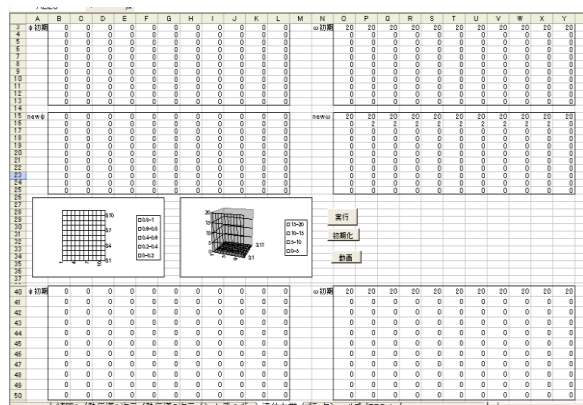


図 10 ギンツブルク・ランダウ方程式

次のブラック・ショールズ方程式（ノーベル賞受賞）を図 12 に示す。

$$-\frac{\partial G}{\partial t} + \frac{1}{2} \sigma^2 x^2 \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} = rG - rx \frac{\partial G}{\partial x}$$

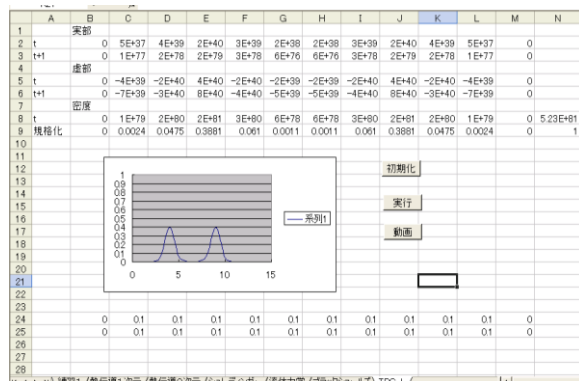


図 11 シュレディンガー波動方程式

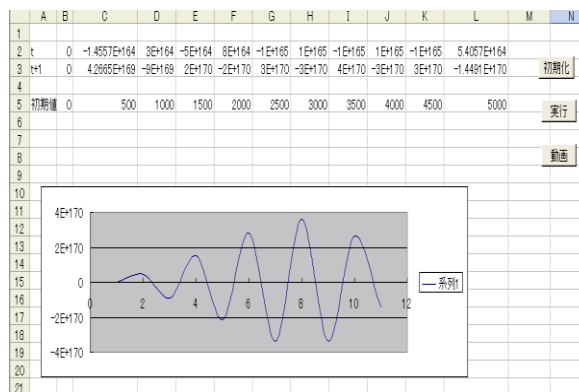


図 12 ブラック・ショールズ方程式

謝辞

本研究は斉藤祐樹東洋公衆衛生学院講師、柴田晋吾コンパック株代表取締役、四方貴大氏のご協力を得た。深く感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 田中仁他：“新・医用放射線技術実験（基礎編）第2版 共立出版株(2011)
“東洋公衆衛生学院案内書” 東洋公衆衛生学院 (2013)
- (2) 柴田晋吾：“コンパック株 e-learning system 設計書” (2008)
- (3) 鳥谷尾秀行, 坂本重己, 渋井二三男：“Development And evaluation of the distance Learning Visual (movie) simple simulation system for Radiologic Technologist” DLI 早稲田大学 (2008)